

### Vortrieb von Rohrelementen im Untergrund

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln der Vortriebskraft, deren Exzentrizität bezüglich der neutralen Achse und/oder der Vortriebsrichtung beim Vortrieb von Rohrelementen zum Erstellen eines länglichen Bauwerks in einem welchen, steinigen und/oder felsigen Untergrund, wobei eine Pressvorrichtung und störnseitig in den Fugen des Rohrstrangs angeordnete, fluidgefüllte Dehn-  
10 elemente eingesetzt werden. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Steuern der Vortriebskraft, der Exzentrizität und der Vorschubrichtung, sowie eine Anwendung des Verfahrens.

Das klassische Verlegen von Rohrleitungen erfolgt in Gräben, wo sie Stück für  
15 Stück in ein Bett eingelegt, abgedichtet und wieder eingedeckt werden.

In einem überbauten, coupierten oder sonstwie im oberen Bereich schwierigen Gelände bietet sich als an sich bekannte Alternative an, aus einem abgeteuften Schacht einen Rohrstrang in das Erdreich zu treiben. Es wird ein möglichst gerade verlaufender Sollweg für den Rohrstrang projektiert, wobei allfällige Hindernisse in einem möglichst grossen Kurvenradius umgangen werden.  
20

Der Rohrstrang wird durch sukzessives Anlegen von Rohrelementen in das Erdreich gepresst, wobei ein steuerbares Kopfstück den Weg weist. Die neuen  
25 Rohrelemente werden in einen Pressschacht abgesenkt und mit einer Pressvorrichtung vorwärts getrieben, bis das nächste Rohrstück eingesetzt werden kann. Die Rohrelemente haben einen Durchmesser von bis zu mehreren Metern, ein Rohrstrang aus Rohrelementen von beispielsweise 1 bis 4 m Durch-  
messerr kann eine Länge von 1 bis 2 km oder mehr erreichen.

30 In einem Zielschacht kann das Kopfstück des Rohrstrangs entnommen und die notwendigen Abschlussvorrichtungen und -leitungen zugefügt werden.

Mit zunehmender Vortriebslänge nehmen die erforderlichen Vorpresskräfte infolge der Mantelreibung der Rohrelemente zu. Je nach der Länge des Rohrstrangs und der anzuwendenden Presskraft können Zwischenpressstationen oder Zwischenschächte für weitere Pressvorrichtungen erstellt werden, mit welchen die Reichweite entsprechend erhöht werden kann.

Das vom Förderkopf abgetragene Erdmaterial muss in Gegenrichtung zum meist etwa horizontalen Rohrvortrieb abgeführt werden, dies kann in an sich bekannter Weise mit Förderbändern, Schuttwagen oder dgl. erfolgen. Weiter ist bei entsprechendem Erdreich eine Dünstromförderung in geschlossenen Rohren möglich.

Die hohen Vortriebskräfte müssen möglichst gleichmäßig und ohne lokale Spannungskonzentrationen stirnseitig von Rohrelement zu Rohrelement übertragen werden, was im Direktkontakt nicht ohne Beschädigungen möglich wäre. Es ist bekannt, dem Rohrquerschnitt entsprechende Druckübertragungsringe aus Holzwerkstoffen einzulegen.

Beim Pressvortrieb werden die Rohrelemente sowohl in axialer als auch in radialer Richtung stark beansprucht. Die Vorpresskräfte müssen den Brustwiderstand und die Reibung zwischen dem Rohrmantel und dem Erdreich überwinden. Richtungskorrekturen führen, neben einer Zunahme der Vorpresskräfte, vor allem zu einer ungleichförmigen Verteilung der Druckspannungen der Rohrstirnseiten und im Rohrelement selbst. Weitere Einwirkungen, wie z. B. Zwängungskräfte und Eigengewicht, beanspruchen die Rohre auch in radialer Richtung.

In der CH 574023 A5 wird eine Fugendichtung für einen Rohrstrang beschrieben, der im Pressvortrieb hergestellt wird. Zwischen den Stirnseiten der einzelnen Rohrelemente wird ein Dehnelement angeordnet, das einen geschlossenen Hohlraum bildet. Dieser ist mit einem unter Druck stehenden Füllmittel so

auspressbar, dass die Stirnseiten der benachbarten Bauelemente auseinander gedrückt werden.

Der Erfinder hat sich die Aufgabe gestellt, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, mit welchem wenigstens einer der drei Parameter Vortriebskraft, Exzentrizität bezüglich der neutralen Achse und Vortriebsrichtung optimal ermittelt wird und wahlweise gespeichert und/oder zur Prozesssteuerung eingesetzt werden kann.

10      Bezuglich der Ermittlung der Parameter wird die Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass in wenigstens einem über die ganze Länge des Rohrstrangs verteilten Teil der Dehnelemente der Fluiaddruck und/oder der Fugen die Verformung gemessen, aus diesen Parametern die Vortriebskraft und die Exzentrizität berechnet und die Werte gespeichert und/oder mit gespeicherten 15      Standardwerten verglichen werden. Zur Prozesssteuerung werden in wenigstens einem über die ganze Länge des Rohrstrangs verteilten Teil der Dehnelemente der Fluiaddruck und/oder der Fugen die Verformung gemessen, aus diesen Parametern die Vortriebskraft und die Exzentrizität berechnet, und die Werte in Steuerbefehle für die Pressrichtung und/oder die individuelle Fluidzufuhr zu bzw. den individuellen Fluidabfluss von den Dehnelementen umgewandelt. Spezielle und weiterbildende Ausführungsformen des Verfahrens sind Ge- 20      genstand von abhängigen Patentansprüchen.

Mit dem erfindungsgemässen Verfahren kann eine lückenlose, jederzeit reproduzierbare Bauwerksdokumentation aufgezeichnet und erstellt werden.

25      Die Aufzeichnungen können auch zur Qualitätssicherung verwendet werden, welche qualitativ und quantitativ nachvollziehbar ist. Weiter kann der Baufortschritt jederzeit mit einem projektierten Sollwert für den Rohrweg verglichen 30      werden.

Bei Abweichungen kann jederzeit die Variante nach der vorliegenden Erfindung,

eine laufende Prozesssteuerung, eingesetzt werden, bis die vorgegebenen Standardwerte wieder die Sollwerte für den projektierten Rohrweg einhalten. Dies erfolgt im Sinne einer rollenden Planung des Prozessablaufs.

- 5   Selbstverständlich können beide erfindungsgemäßen Prozesse, das Ermitteln der Parameter und die Steuerung gleichzeitig ablaufen.

Der englische Ausdruck Fluid ist auch in der deutschen Sprache üblich geworden, damit wird ein fliessfähiges Medium bezeichnet, insbesondere ein Gas, 10 eine Flüssigkeit niedriger oder hoher Viskosität, ein Gel, eine pastöse Masse oder dgl.

Vorzugsweise ist in jeder Fuge ein Dehnelement mit einer Messvorrichtung angeordnet. Während – wie erwähnt – in jeder Fuge ein Dehnelement angeordnet 15 sein muss, können die Messelemente auch teilweise weggelassen werden, vorzugsweise periodisch. Beispielsweise kann in jedem 2., 3., 4., ... n. Dehnelement eine Messvorrichtung für den Druck angeordnet sein. Selbstverständlich ist eine regelmässige Anordnung nicht zwingend, aber vorteilhaft. In den gleichen oder unterschiedlichen Fugen kann die Verformung gemessen werden, 20 wobei dies in der Regel mittels Messung der Dehnung der Fugen besteht. Es können jedoch auch die Scherverformung und/oder andere an sich bekannte Parameter gemessen werden. Dies erfolgt vorzugsweise an mindestens drei regelmäßig über den Umfang verteilten Stellen, so kann im Falle der Dehnungsmessung die Geometrie der Dehnungsebene einer Fuge bestimmt werden. 25

Der Fluiaddruck in den Dehnelementen wird zweckmässig mittels eines Manometers gemessen. Wird aufgrund der gemessenen Parameter eine Abweichung des Fluiaddrucks vom Sollwert festgestellt, veranlasst ein entsprechender Steuerbefehl eine Zufuhr oder einen Abfluss von Fluid, oder die Vortriebskraft wird entsprechend erhöht oder erniedrigt. Die Steuerbefehle können individuell an 30 einen spezifischen Aktor erfolgen, jedoch auch gruppenweise an mehrere Akto-

ren.

Das Dehnelement kann bezüglich des Querschnitts jede übliche geometrische Form annehmen. Im einfachsten Fall ist dies kreisförmig. Die Querschnittsform kann jedoch auch quadratisch, rechteckig, mit gleichen oder unterschiedlichen Wanddicken sein. Als Material bieten sich elastische Werkstoffe an, welche auch faserverstärkt sein können und deren mechanische Eigenschaften an die objektspezifischen Kräfte und geometrischen Verhältnisse anpassbar sind.

10 In Bezug auf den Querschnitt kreisförmige, ovale, elliptische oder rechteckige Dehnelemente haben die geometrische Eigenschaft, dass bei spannungsfrei erzeugten Vorstauchungen der Dehnelemente deren Auflagebreiten auf der Rohrstirnfläche nur in geringem Masse abhängig sind von den unter Kraft auftretenden Stauchungen. Dies hat zur Folge, dass auch bei stark schiefen Dehnungsebenen in den Fugen die spezifischen, von den Dehnelementen übertragenen Kräfte entlang des Rohrumfangs nur geringfügig variieren und damit die Exzentrizitäten der Vortriebskraft bezüglich der neutralen Achse der Rohre gering bleiben, was einen starken Gegensatz zu den bisher meist verwendeten Fugen aus Holzwerkstoffen bedeutet.

20 Weiter kann das Verhältnis der ausgeübten Kraft K1 zur zulässigen Kraft K2 durch periodische oder kontinuierliche Berechnung des Verhältnisses überwacht werden. Falls das Verhältnis 1 erreicht oder überschreitet, wird automatisch ein Alarm ausgelöst und/oder die betreffende Stelle auf einem Display angezeigt, der Operator kann sofort einschreiten.

25 Schliesslich wird im Pressschacht das zwischen das hinterste Rohrelement des Rohrstrangs und das neu eingeführte Rohrelement eingelegte Dehnelement vorzugsweise vorgestaucht und die dabei gemessenen Parameter gespeichert.  
30 Mit anderen Worten wird beim Vorstauchen der geometrische Querschnitt des Dehnelements festgelegt. Wie bei allen übrigen Messungen erfolgt das Auswerten vorzugsweise in Echtzeit, also nicht zeitverschoben.

Die Erfindung, insbesondere auch die dazu notwendigen Vorrichtungen, werden anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele, welche auch Gegenstand von abhängigen Patentansprüchen sind, näher erläutert. Es zeigen 5 schematisch:

- Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch einen Pressschacht mit einem Rohrstrang,
- Fig. 2 den Verlauf eines Rohrstrangs unterhalb eines Strassenabschnitts,
- Fig. 3 einen Axialschnitt durch zwei stirnseitig aneinanderliegende Rohrelemente,
- Fig. 4 einen Radialschnitt durch ein Dehnelement,
- Fig. 5 ein Detail einer Stossverbindung zweier Rohrelemente mit einer Mess- und Füllleinrichtung, gemäss V von Fig. 3,
- Fig. 6 verschiedene Querschnittsformen von Rohrelementen,
- Fig. 7 verschiedene Querschnittsformen von Dehnelementen,
- Fig. 8 eine Variante von Fig. 3 mit sektoriellicher Unterteilung des Dehnelements, und
- 20 - Fig. 9 eine Variante gemäss Fig. 3 mit Dehnungsmessung.

Im Untergrund 10, vom welchen Erdreich bis zum monolithischen Fels, wird ausgehend von einem Pressschacht 12 ein Rohrstrang 14 vorgetrieben, welcher in einigen Metern Tiefe etwa parallel zur Erdoberfläche 16 verläuft. Die 25 einzelnen Rohrelemente 18 werden mittels einer Hebevorrichtung 20 in den Pressschacht 12 abgesenkt.

Eine sich auf ein Widerlager 22 abstützende Pressvorrichtung 24 ist auf den Rohrstrang 14 ausgerichtet. Vorliegend handelt es sich um Hydraulikpressen, 30 es können jedoch auch pneumatische Pressen oder Hubspindeln eingesetzt werden. Ein Druckring 26 drückt stirnseitig auf das hinterste Rohrelement 18 und drückt den ganzen Rohrstrang 14 in Vorschubrichtung 28 um die Länge l

eines Rohrelements 18 vorwärts. Dann wird der Druckring 26 zurückgezogen, ein neues Rohrelement 18 abgesenkt und unter Zwischenlage eines Dehnelements 44 (Fig. 3) präzis angesetzt. Dann erfolgt der Einschub um eine weitere Rohrlänge l.

5

Gleichzeitig mit dem Einpressen des Rohrstrangs 18 in den Untergrund 10 wird durch ein Kopfstück 30 in an sich bekannter Weise das verdrängte Erdreich abgebaut. Dies erfolgt beispielsweise durch einen eingebauten Bagger 32, eine Fräse oder einem anderen im Bergbau bekannten Arbeitsgerät. Mit einem nicht gezeichneten Laufband wird das abgetragene Erdreich 34 in Richtung des Pressschachts 24, also entgegen der Vortriebsrichtung 28, gefördert.

10

Der Vortrieb erfolgt wie erwähnt schrittweise. Ein Schritt beinhaltet das Einsetzen eines Rohrelements 18, den Vorschub des Rohrstrangs 14 um die Länge l des Rohrelements 18 in Vorschubrichtung 28. Die Vorschubkraft 40 (Fig. 3) wird über die nachstehend gezeigten Dehnelemente 44 (Fig. 3) von Rohrelement zu Rohrelement 18 übertragen.

15

Wie erwähnt, verläuft der Rohrstrang 14 in der Regel etwa parallel zur Erdoberfläche 16. Der Rohrstrang 14 kann aber auch in jedem beliebigen anderen Winkel verlaufen.

20

Aus verschiedenen Gründen kann es während dem Vorschleben eines Rohrstrangs 18 zu Exzentrizitäten kommen, wie dies in Fig. 3 im Detail dargestellt wird.

25

Das Kopfstück 30 weist meist ein Ortungsgerät 36 auf, so kann die Lage jederzeit festgestellt und allenfalls notwendige Korrekturen vorgenommen werden. Weiter kann bei einer allenfalls notwendigen Reparatur oder Auswechselung des Kopfstecks 30 ein Hilfsschacht präzis ausgehoben werden.

30

In Fig. 2 ist ein S-Stück einer Strasse 38 mit darunter liegendem Rohrstrang 14

angedeutet. Der Rohrstrang 14 wird mit möglichst grossem Biegeradius durch das S-Stück geführt, der projektierte Rohrweg verläuft möglichst gerade. Durch Messen und Prozesssteuerung gemäss der vorliegenden Erfindung kann der Rohrstrang 14 dem projektierten Rohrweg weitestgehend folgen.

5

Fig. 3 zeigt die Stirnseiten 42 zweier Rohrelemente 18, auf welche eine Vortriebskraft 40 ausgeübt wird. Die beiden Stirnseiten 42 der Rohrelemente 18 werden durch ein als Hohlprofil ausgebildetes Dehnelement 44 gestossen. Der Hohlraum des Dehnelements 44 ist mit einem druckfesten Fluid 46 gefüllt, der Druck  $p$  kann auf weit mehr als 100 bar ansteigen.

10

Der Verbindungsreich der beiden Rohrelemente 18 ist mit einer Manschette 48 abgedeckt, welche eine Führungs- und Dichtungsfunktion hat. Die Dichtungsfunktion wird durch einen eingelegten O-Ring 50 unterstützt.

15

Es kann während dem Vorschieben eines Rohrstrangs 14 aus Rohrelementen 18 zu Exzentrizitäten 52 der Vorschubkraft 40 bezüglich der neutralen Achse N des Rohrstrangs 14 kommen. Die Gründe dafür liegen in den unterschiedlichen Reibungsverhältnissen entlang der Kontaktfläche 54 der Rohrelemente 18 und dem Untergrund 10, hauptsächlich aber in geplanten und unvorhergesehenen Steuerbewegungen sowie Massungenuigkeiten in den Rohrelementen 18, insbesondere bei der Verwendung von Fugenelementen aus Holzwerkstoffen, welche eine ausgeprägte nicht lineare, irreversible Last-Verformungs-Charakteristik aufweisen. Die erwähnten Exzentrizitäten 52 erzeugen Drehmomente um Achsen, die in einer senkrecht zur Vortriebsrichtung 28 stehenden Ebene liegen. Zur Erhaltung des Gleichgewichts wird die Mobilisierung von zu diesen Momenten gegenläufigen, betragsmäßig gleich grossen Drehmomenten durch rechtwinklig zur Vortriebsrichtung 28 wirkende Erddrücke notwendig. Diese Erddrücke stellen bedeutende Belastungen dar, welche im Extremfall zu einem Bruch von Rohrelementen 18 führen.

Erfindungsgemäss sind alle Hohlräume der Dehnelemente 44 über den ganzen

Rohrstrang 14 über eine Druckleitung 56 verbunden, wie dies in Fig. 4 und 5 gezeigt wird. Diese Druckleitung 56 ist über einen Füllhahn 58 mit der Armatur 60 jedes angeschlossenen Dehnelements 54 verbunden. Mit einem Hebel 62 kann der Füllhahn 58 geöffnet werden. Die Armatur 60 ist auch mit einem Druckmessgerät 64 und einem Entlüftungshahn 66 bestückt, über welchen überflüssiges Fluid in den Innenraum des Rohrstrangs 14 abgelassen werden kann.

In der Ausführungsform nach Fig. 4 ist das Dehnelement 44 aus einem Elastomer schlauchförmig ausgebildet. Der umlaufende Schlauch hat keine Aufteilung in Sektionen. Der Druck ist deshalb, bis auf den geodätischen Unterschied, immer rundherum gleich, auch bei grösster Druckanwendung, was in Fig. 5 mit dem punktierten, verformten Dehnelement 44 dargestellt ist.

In Fig. 6 sind einige mögliche Querschnitte von Rohrelementen 18 dargestellt. Diese können beispielsweise rund, quadratisch, rechteckig, rechteckig mit einer Querwand oder gewölbeartig ausgebildet sein. Die Elemente haben einen Durchmesser bzw. ein entsprechendes Linearmass von einem oder mehreren Metern. Sie bestehen beispielsweise aus Beton, Faserbeton oder einem Metall.

Fig. 7 zeigt Querschnitte von Dehnelementen 44. Diese sind kreisförmig, quadratisch, elliptisch, langrechteckig abgerundet, kassettenförmig und beidseits konvex ausgebildet. Es gibt eine grosse Vielfalt von Querschnitten, die Wände können teilweise verstärkt ausgebildet sein.

In der Ausführungsform nach Fig. 8 ist das umlaufende Dehnelement 44 in drei gleich grosse Sektionen A, B, C aufgeteilt, welche hydraulisch nicht miteinander verbunden sind. Jede Sektion des Dehnelements 44 kann eine Armatur mit einem Füllhahn 58 und einem Entlüftungshahn 66 aufweisen. Es kann eine aktive Richtungsänderung erfolgen. Mit einem Dehnelement 44 gemäss Fig. 8 kann bei entsprechender Anordnung direkt der Führungskopf 30 (Fig. 1) gesteuert werden. Üblich sind drei bis sechs Sektoren.

In der Ausführungsform gemäss Fig. 9 wird die Dehnung zwischen den Stirnseiten 42 der Rohrelemente 18 mit einem Dehnungsmesser 68 gemessen.

- 5 Die Messdatenverwaltung von Druck und Verformung, insbesondere der Dehnung, erfolgt im Rohrstrang 18 oder ausserhalb davon mit einem Prozessor. Der Füllhahn 58 und der Entlüftungshahn 66 können über entsprechende Akto-  
ren ebenfalls von einem Prozessor gesteuert werden. Die Datenübertragung vom und zum Prozessor erfolgt über elektrische oder optische Kabel bzw. über  
10 Funk, auch unter Einsatz des Internets. Diese wie üblich verwendeten elektro-  
nischen Bauteile sind der Übersichtlichkeit wegen nicht gezeichnet.

Von wesentlicher Bedeutung ist dagegen, dass die Hohlräume aller betätigba-  
ren Dehnelemente 44 über die Druckleitung 56 kommunizierend miteinander  
15 verbunden werden können. Die sich im Innern des Rohrstrangs 14 über die  
ganze Länge erstreckende Druckleitung 56 kann mit allen Dehnelementen 54  
oder nur einem Teil davon verbunden sein. Durch den Füllhahn 58 wird der  
Hohlräum eines Dehnelements 44 vor dem Aufbringen der Vortriebskraft 40  
zweckmässig mit einer druckstetigen Flüssigkeit, auch Fluid 46 genannt, gefüllt  
20 und durch mindestens einen Entlüftungshahn 66 gleichzeitig entlüftet. Über  
diese beiden Hahnen 58, 66 besteht auch die Möglichkeit, den vorhandenen  
Innendruck des Fluids 46 mit einem Druckmessgerät 64 zu messen. Mit Hilfe  
von mindesten drei punktuellen Messungen der Dehnung von Fugen 70 in Vor-  
triebsrichtung 28 wird die Dehnungsebene in einer Fuge 70 bestimmt. Durch  
25 den erhaltenen Parameterdruck des Fluids 46 und die Geometrie der Dehnungsebene in der Fuge 70 kann mit Hilfe eines reversiblen Last-Verformungs-  
gesetzes der beschriebenen Fugenfunktion die Grösse und Exzentrizität 72 der  
resultierenden Vortriebskraft 40 in Ort und Betrag ermittelt werden. Daraus  
kann wiederum die Grösse und Richtung der Erddrücke quer zur neutralen  
30 Achse N ermittelt und damit die Kenntnis über die Grösse der Gefährdung einer  
Beschädigung oder gar eines Bruchs der Rohrelemente 18 in Querrichtung ge-  
wonnen werden. Somit steht eine zuverlässige und genaue Methode zur Über-

wachung und Steuerung der Vortriebskräfte 40 zur Verfügung, welche mit einfachen, wirtschaftlichen und robusten Mitteln auskommt. Die Fuge 70 kann nach einer nicht dargestellten Variante auch konzentrisch, spiralförmig oder nach einer komplizierteren, jedoch keine Querkräfte erzeugenden geometrischen Form verlaufen.

Durch eine Stauchung des Dehnelements 44 in der Fuge 70, während der die beschriebenen Füllhahn 58 und/oder Entlüftungshahn 66 geöffnet sind und so mit das Fluid 46 frei in den Hohlraum des Dehnelements 44 ein- und austreten kann, wird das Dehnelement 44 deformiert, ohne dass sich der Druck im Hohlraum des Dehnelements 44 ändert. Durch eine solche Vorstauchung kann die kraftübertragende Auflagefläche des Dehnelements 44 auf den Stirnseiten 42 der Rohrelemente und damit auch die Vortriebskraft 40 erhöht werden. Durch eine gezielte Vorstauchung kann somit das Deformationsverhalten des Dehnelements 44 in gewissen Grenzen gemäss den Anforderungen gesteuert werden.

In mehrere Abschnitte unterteilte, d. h. sektionierte Dehnelemente 44 stellen unabhängige hydraulische Gefässe dar, die zueinander unterschiedliche Innen drücke aufweisen können. Als gemeinsamen Parameter weisen diese Abschnitte lediglich die Geometrie der Dehnungsebene auf. Durch das Steuern des Druckes, bzw. der vorhandenen Menge Fluid 46 im Hohlraum der einzelnen Abschnitte des Dehnelements 44 wird die Lage der resultierenden Vortriebskraft 40 in Ort und Betrag beeinflusst. Mit einer gezielten Anwendung dieser Eigenschaft kann das unterteilte Dehnelement 40 die Lage und Grösse der Exzentrizität 52 der Vortriebskraft 40 genau kontrolliert und gesteuert werden.

Fehlen bei einem Dehnelement 44 diese Unterteilungen, so ist der Flüssigkeitsdruck  $p$  im Hohlraum des Dehnelements 44 überall gleich gross, und die Grösse der über das Dehnelement 44 übertragenen Kraft je Längeneinheit des Dehnelements 44 in Umfangrichtung gemessen ist nur von der Grösse der Auflagebreite des Dehnelements 44 auf den Stirnseiten der Elemente abhängig und insbe-

sondere von der übrigen Geometrie des Dehnelements 44 unabhängig. Durch eine geschickte Wahl von Eigenschaften und Geometrie, sowie Vorstauchung des Dehnelements 44 gelingt es, die Abhängigkeit der stirnseitigen Fugenaufklagefläche je Längeneinheit von der Stauchung des Dehnelements 44 klein zu  
5 halten. Damit kann auch die Exzentrizität 52 der resultierenden Vortriebskraft 40 von der Dehnung des Dehnelements 44 unabhängig gemacht oder in kleinen Grenzen gehalten werden. Dies stellt eine bedeutende Verbesserung der Eigenschaften der beschriebenen Dehnelemente 44 dar.

10 Nach erfolgtem Vortrieb bestehen für die Weiterverwendung des beschriebenen Dehnelements 44 im wesentlichen zwei Möglichkeiten:

- Der Innendruck des Dehnelements 44 wird abgesenkt und diese vom Innenraum des erstellten Bauwerks her ausgebaut. Damit kann das Dehnelement  
15 44 wieder verwendet werden.
- Das Dehnelement 44 bleibt eingebaut und wird als Bauwerksabdichtung für den Endzustand weiterverwendet.

Der Druck des Fluids 46 innerhalb des Dehnelements 44 wird weiter überwacht  
20 und gesteuert und damit die Dichtungsleistung des Dehnelements 44 kontrolliert.

Das Fluid 46 im Dehnelement kann mit einer sich erhärtenden Flüssigkeit ausgetauscht werden, beispielsweise mit einer Zement-Suspension. Diese wird  
25 unter einem bestimmten Druck in den Hohlraum des Dehnelements 44 eingesetzt und so nach erfolgter Erhärtung für eine dauerhafte Vorspannung und einen Dichtdruck verwendet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass erfindungsgemäß die Möglichkeit besteht, mit dem beschriebenen Aufbau des Dehnelements 44 das  
30 ganze Bauwerk auf einfache Art und Weise zu überbrücken, bzw. vorzuspannen, mit all den damit verbundenen Vorteilen.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Ermitteln der Vortriebskraft (40), deren Exzentrizität (52) bezüglich der neutralen Achse (N) und/oder der Vortriebsrichtung (28) beim Vortrieb von Rohrelementen (18) zum Erstellen eines länglichen Bauwerks in weichem, steinigem und/oder felsigem Untergrund, wobei eine Pressvorrichtung (24) und stirnseitig in den Fugen (70) des Rohrstrangs (14) angeordnete, fluidgefüllte Dehnelemente (44) eingesetzt werden,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

in wenigstens einem über die ganze Länge des Rohrstrangs (14) verteilten Teil der Dehnelemente (44) der Fluiaddruck (p) und/oder der Fugen (70) die Verformung gemessen, aus diesen Parametern die Vortriebskraft (40) und die Exzentrizität (52) berechnet und die Werte gespeichert und/oder mit gespeicherten Standardwerten verglichen werden.

2. Verfahren zum Steuern der Vortriebskraft (40), Minimalisieren von deren Exzentrizität (52) bezüglich der neutralen Achse (N) und/oder der Vortriebsrichtung (28) beim Vortrieb von Rohrelementen (28) zum Erstellen eines länglichen Bauwerks in weichem, steinigem und/oder felsigem Untergrund (10), wobei eine Pressvorrichtung (24) und stirnseitig in den Fugen (70) des Rohrstrangs (14) angeordnete, fluidgefüllte Dehnelemente (44) eingesetzt werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

in wenigstens einem über die ganze Länge des Rohrstrangs (14) verteilten Teil der Dehnelemente (44) der Fluiaddruck (p) und/oder der Fugen (70) die Verformung gemessen, aus diesen Parametern die Vortriebskraft (40) und die Exzentrizität (52) berechnet, und die Werte in Steuerbefehle für die

Pressvorrichtung (24) und/oder die individuelle Fluidzufuhr zu bzw. den individuellen Fluidabfluss von den Dehnelementen (44) umgewandelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verformung, vorzugsweise die Dehnung oder die Scherverformung, in allen Fugen (70) gemessen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verformung, vorzugsweise die Dehnung in einer Fuge (70) an wenigstens drei Stellen, vorzugsweise regelmässig über den Umfang verteilt, gemessen und die Geometrie der Dehnungsebene der Fuge (70) bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluiddruck ( $p$ ) in jedem Abschnitt (A, B, C) eines sektoruell unterteilten Dehnelements (44) gemessen und bei entsprechendem Steuerbefehl, abschnittsweise eine individuelle Fluidmenge zu- oder abgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem vordersten Dehnelement (44) ein Kopfstück (30) gesteuert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluiddruck ( $p$ ) in einem mit einer drucksteifen Flüssigkeit gefüllten Dehnelement (44) gemessen wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluiddruck ( $p$ ) in einem im Querschnitt kreisförmigen, ovalen, elliptischen oder in Richtung wenigstens einer Stirnseite (42) der Rohrelemente (18) runden Dehnelement (44) gemessen wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von ausgeübter Kraft ( $K_1$ ) zu zulässiger Kraft ( $K_2$ ) perio-

disch oder kontinuierlich berechnet und überwacht, und bei

$$\frac{K_1}{K_2} \geq 1$$

vorzugsweise Alarm ausgelöst wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die beim Vorstauchen des Dehnelementes (44) im Pressschacht (12) gemessenen Parameter gespeichert werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung in Echtzeit erfolgt.
12. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 zur Qualitätssicherung.